

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-138561

(43)Date of publication of application : 14.05.2003

(51)Int.Cl.

E02D 5/48

(21)Application number : 2001-339344

(71)Applicant : TAKENAKA KOMUTEN CO LTD

(22)Date of filing : 05.11.2001

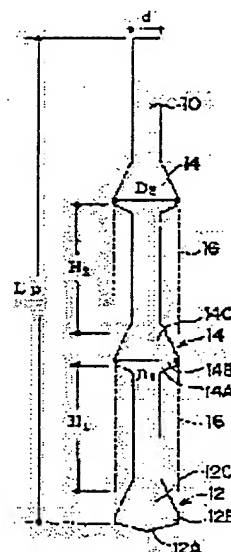
(72)Inventor : HIRAI YOSHIO  
AOKI MASAMICHI  
MARUOKA MASAO

(54) METHOD OF MANUFACTURING AND EVALUATING PILE WITH MULTI-STAGE ENLARGED-DIAMETER AND PILE WITH MULTI-STAGE ENLARGED-DIAMETER

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a pile with multi-stage enlarged-diameter offering great vertical supporting force in place of that of a continuous underground wall.

**SOLUTION:** The pile with multi-stage enlarged-diameter has enlarged-diameter portions formed in plural places in the longitudinal direction, with their diameters larger than those of shaft portions of the pile. The enlarged-diameter portions are set in a ground where a vertical cylindrical sliding surface using the diameter of the enlarged-diameter portion as a diameter and a value twice or nearly twice the diameter of the enlarged-diameter portion as an effective height is expected to have a vertical load on the enlarged-diameter portions.



$E_p$  : 抗長  
 $G$  : 模剛度  
 $D_1, D_2$  : 其半径  
 $H_1, H_2$  : 其板厚  
 $(H_1 = 2D_1, H_2 = 2D_2)$

植松氏の異画筆力が考慮せざる難題（8校臨証抗心例）

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

12.12.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2003-138561  
(P2003-138561A)

(43) 公開日 平成15年5月14日 (2003.5.14)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

E 0 2 D 5/48

識別記号

F I

E 0 2 D 5/48

テームト\* (参考)

2 D 0 4 1

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2001-339344(P2001-339344)

(22) 出願日 平成13年11月5日 (2001.11.5)

(71) 出願人 000003621

株式会社竹中工務店

大阪府大阪市中央区本町4丁目1番13号

(72) 発明者 平井 芳雄

千葉県印西市大塚1丁目5番地1 株式会  
社竹中工務店技術研究所内

(72) 発明者 青木 雅路

千葉県印西市大塚1丁目5番地1 株式会  
社竹中工務店技術研究所内

(74) 代理人 100079049

弁理士 中島 淳 (外3名)

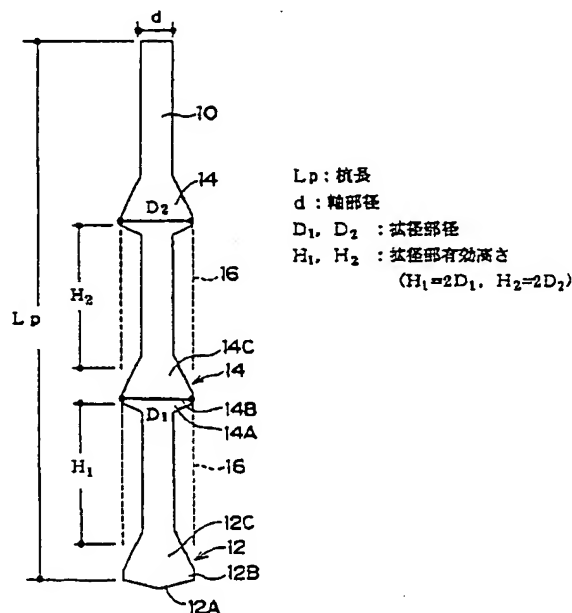
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多段拡径杭の製造方法、多段拡径杭の評価方法、及び多段拡径杭

(57) 【要約】

【課題】連続地下壁に替わる大きな鉛直支持力を得ることができる多段拡径杭を提供する。

【解決手段】杭の長手方向の複数箇所に杭の軸部より径が大きい拡径部を形成した多段拡径杭であって、鉛直荷重作用時に、地盤内に拡径部径を直径とし、かつ拡径部の直径の2倍または2倍付近の値を有効高さとする鉛直円筒すべり面が各々の拡径部に対して想定できる位置に、拡径部を形成する。



拡径部の周面摩擦力が考慮できる範囲 (3段拡径杭の例)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】杭の長手方向の複数箇所に杭の軸部より径が大きい拡張部を形成した多段拡張杭の製造方法であって、

鉛直荷重作用時に、地盤内に拡張部径を直径とし、かつ拡張部の支圧効果が及ぶ範囲を有効高さとする鉛直円筒すべり面を各々の拡張部に対して想定し、各拡張部の鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の和と、杭先端地盤の極限抵抗力と、軸部の極限周面摩擦力との和から杭の自重を減算した値を極限鉛直支持力とし、該極限鉛直支持力が目標値になるように多段拡張杭を製造する多段拡張杭の製造方法。

【請求項2】砂質土地盤の場合には、鉛直円筒すべり面の面積と砂質土地盤における標準貫入試験によるN値に基いて等しいとする砂質土のせん断強度との積の和を、前記各拡張部の鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の和とし、

粘性土地盤の場合には、鉛直円筒すべり面の面積と粘性土の非排水せん断強度との積の和を、前記各拡張部の鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の和とした請求項1記載の多段拡張杭の製造方法。

【請求項3】鉛直円筒すべり面の有効高さを拡張部の直径の2倍としたとき、

砂質土地盤の場合には、鉛直円筒すべり面の面積と砂質土地盤における標準貫入試験によるN値の1/2に等しいとする砂質土のせん断強度との積の和を、前記各拡張部の鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の和とし、

粘性土地盤の場合には、鉛直円筒すべり面の面積と、粘性土の非排水せん断強度と、前記非排水せん断強度に依存する低減係数との積の和を、前記各拡張部の鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の和とした請求項1記載の多段拡張杭の製造方法。

【請求項4】砂質土地盤における標準貫入試験によるN値の1/2に等しいとする砂質土のせん断強度、及び、粘性土の非排水せん断強度と前記非排水せん断強度に依存する低減係数との積の上限値を $30 \text{ t f/m}^2$ とした請求項3記載の多段拡張杭の製造方法。

【請求項5】杭の長手方向の複数箇所に杭の軸部より径が大きい拡張部を形成した多段拡張杭の評価方法であって、

鉛直荷重作用時に、地盤内に拡張部径を直径とし、かつ拡張部の支圧効果が及ぶ範囲を有効高さとする鉛直円筒すべり面を各々の拡張部に対して想定し、各拡張部の鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の和と、杭先端地盤の極限抵抗力と、軸部の極限周面摩擦力との和から杭の自重を減算した値を極限鉛直支持力として演算し、

演算した極限鉛直支持力の大きさに基づいて多段拡張杭を評価する多段拡張杭の評価方法。

【請求項6】砂質土地盤の場合には、鉛直円筒すべり面の面積と砂質土地盤における標準貫入試験によるN値に基いて等しいとする砂質土のせん断強度との積の和を、前記各拡張部の鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の和とし、

粘性土地盤の場合には、鉛直円筒すべり面の面積と粘性土の非排水せん断強度との積の和を、前記各拡張部の鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の和とした請求項5記載の多段拡張杭の評価方法。

【請求項7】鉛直円筒すべり面の有効高さを拡張部の直径の2倍としたとき、

砂質土地盤の場合には、鉛直円筒すべり面の面積と砂質土地盤における標準貫入試験によるN値の1/2に等しいとする砂質土のせん断強度との積の和を、前記各拡張部の鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の和とし、

粘性土地盤の場合には、鉛直円筒すべり面の面積と、粘性土の非排水せん断強度と、前記非排水せん断強度に依存する低減係数との積の和を、前記各拡張部の鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の和とした請求項6記載の多段拡張杭の評価方法。

【請求項8】砂質土地盤における標準貫入試験によるN値の1/2に等しいとする砂質土のせん断強度、及び、粘性土の非排水せん断強度と前記非排水せん断強度に依存する低減係数との積の上限値を $30 \text{ t f/m}^2$ とした請求項7記載の多段拡張杭の評価方法。

【請求項9】杭の長手方向の複数箇所に杭の軸部より径が大きい拡張部を形成した多段拡張杭であって、鉛直荷重作用時に、地盤内に拡張部径を直径とし、かつ拡張部の直径の2倍または2倍付近の値を有効高さとする鉛直円筒すべり面が各々の拡張部に対して想定できる位置に前記拡張部を形成した多段拡張杭。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、多段拡張杭の製造方法、多段拡張杭の評価方法、及び多段拡張杭にかかり、特に、多段拡張場所打ちコンクリート杭の鉛直支持力を適切に算定することによって、大きな周面摩擦力すなわち大きな鉛直支持力を得ることができるようにした多段拡張杭の製造方法、多段拡張場所打ちコンクリート杭の鉛直支持力を適切に算定することによって、多段拡張場所打ちコンクリート杭の鉛直支持性能を適切に評価するようにした多段拡張杭の評価方法、及び拡張部を適切な位置に形成することによって大きな鉛直支持力を得るようにした多段拡張杭に関する。

## 【0002】

【従来の技術及び発明が解決しようとする課題】従来より、超高層RC住宅棟のような鉛直荷重が大きな建物の基礎には、高コストで、かつ高鉛直支持性能を有する連続地下壁杭が用いられることが多い。この連続地下壁杭

は、地盤を壁状に掘削して排土した後の溝に、鉄筋コンクリートを充填して構築する。連続地下壁杭では、地中に基礎を壁状に構築するので、広い先端支持面積が確保でき、高鉛直支持性能を確保することができる。

【0003】しかしながら、掘削による排土量が多く、充填する鉄筋コンクリート量も多くなるため、基礎工事に要するコストが高くなる。さらに、掘削量が多いので、掘削残土や施工中に用いた溝壁安定液といった産業廃棄物量が増大する。また、ガイドウォールと呼ばれる溝掘削のための山留め壁を先行して施工する必要がある、地下工事に要するコスト・工期が増加する、といった問題点がある。

【0004】この連続地下壁杭の代替工法として、場所打ちコンクリート杭の軸部に節を多段に設けて高周面摩擦抵抗力を確保した多段拡張場所打ちコンクリート杭が考えられている。この杭は、通常の場所打ちコンクリート杭に比べて、大きな鉛直支持性能を確実に発揮することができ、連続地下壁杭の代替工法として、大幅なコスト低減、工期短縮、及び産廃削減による環境負荷低減が可能となる。

【0005】大きな鉛直荷重を従来の場所打ちコンクリート杭で支持しようとすると、杭先端支持力には杭底面積に依存した上限が存在するので、支持層深く掘削して支持層内の軸部周面摩擦力を大きくすることになる。

【0006】しかしながら、支持層相当の強固な地盤内に構築された杭であっても従来の場所打ちコンクリート杭の軸部周面摩擦力は比較的小さく、所定の鉛直支持力を確保するためには支持層深く削孔して杭を構築する必要があり、基礎工事のコスト、工期が増加する、といった問題点が生じる。

【0007】従来の場所打ちコンクリート杭の軸部周面摩擦力が小さい理由として、安定液泥膜の影響により十分な周面摩擦抵抗を確保できないことが考えられる。すなわち、アースドリル工法を用いた場所打ちコンクリート杭は、施工時に安定液を満たしながら削孔するため、孔壁面に安定液の膜（以下、泥膜）が生じる。この泥膜に安定液の液圧が加わり、土圧による孔壁の崩壊を防止するのであるが、そのために杭施工完了後にも杭と地盤との間には泥膜が介在することになる。泥膜のせん断強度は、通常地盤のせん断強度に比較して小さいため、杭に作用する鉛直荷重を地盤に確実に伝達できるとは限らない。

【0008】また、粘性土地盤の場合には泥膜の影響だけではなく、削孔の影響による孔壁面の緩みや強度低下が考えられ、杭の周面摩擦力として地盤のせん断強度を用いて良いか否かが不明確である。このため、日本建築学会の「建築基礎構造設計指針」では、場所打ち杭の周面摩擦力度 $\tau$ の推定式は、砂質土においては $\tau = N/3$ とし、 $N$ 値は50以下という上限値を設定している（p

p. 233, 1988）。

【0009】また、粘性土においては非排水せん断強度 $c_u$ が小さい範囲では、場所打ち杭の周面摩擦力度 $\tau$ として非排水せん断強度 $c_u$ の値を用い（ $\tau = c_u$ ）、非排水せん断強度 $c_u$ の値が比較的大きい過圧密粘土の場合には、 $\tau$ の過大評価につながるおそれもあるので、 $\tau$ の上限値（例えば、 $15 \text{ tf/m}^2$ ）が実務的な観点から推奨されている。

【0010】また、国土交通省告示第1113号では、場所打ち杭の鉛直支持力を算定する際の杭周面摩擦力度の上限値がかなり低く設定されている（上限値は、砂質土及び粘性土とも $10 \text{ tf/m}^2$ ）。

【0011】以上のような場所打ち杭の周面摩擦力度 $\tau$ に関する学術的な知見や法律上の規定を踏まえた杭の設計において、従来の場所打ち杭で大きな鉛直支持力を確保しようとすると、杭本数、杭径、杭長が増大し、コスト・工期面で他工法と比較して不利となり、現状では大きな鉛直支持力の確保のために従来の場所打ち杭が利用されることは少ない。

【0012】本発明は、上記の問題点を解消するためになされたもので、大きな鉛直支持力を確保することができる多段拡張杭を製造するための多段拡張杭の製造方法を提供することを第1の目的とする。また、多段拡張杭の鉛直支持力を適切に算定することによって、多段拡張杭の鉛直支持性能を適切に評価することができる多段拡張杭の評価方法を提供することを第2の目的とする。さらに、大きな鉛直支持力を得ることができる多段拡張杭を提供することを第3の目的とする。

【0013】なお、本発明に関連する技術として、特開平4-265312号公報には、場所打ち杭の軸部に複数の杭底部を形成することで、大きな支持力を確保する多段拡張場所打ち杭が記載されている。しかしながら、上記の従来技術には支持力算定法に関しては記述が無いので、多段拡張杭の設計はできない。

【0014】また、特開平7-145616号公報には、多段拡張の構成を有する引抜き抵抗力を向上させた多段拡張場所打ちコンクリート杭が記載されている。しかしながら、鉛直支持性能に関する記述はない。

【0015】さらに、特開平11-336457号公報には、多段拡張杭の施工方法及び施工機械が記載されているが、多段拡張杭の鉛直支持力算定法については本願発明とは異なっている。特願2000-203706号は、多段拡張の構成を有する引抜き抵抗杭の設計法に関する技術であるが、鉛直支持力算定法については記載がない。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の多段拡張杭の製造方法は、杭の長手方向の複数箇所に杭の軸部より径が大きい拡張部を形成した多段拡張杭の製造方法であって、鉛直荷重作用時に、地盤

内に拡張部径を直径とし、かつ拡張部の支圧効果が及ぶ範囲を有効高さとする鉛直円筒すべり面を各々の拡張部に対して想定し、各拡張部の鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の和と、杭先端地盤の極限抵抗力と、軸部の極限周面摩擦力との和から杭の自重を減算した値を極限鉛直支持力とし、該極限鉛直支持力が目標値になるように多段拡張杭を製造することを特徴とする。

【0017】また、本発明の多段拡張杭の評価方法は、杭の長手方向の複数箇所に杭の軸部より径が大きい拡張部を形成した多段拡張杭の評価方法であって、鉛直荷重作用時に、地盤内に拡張部径を直径とし、かつ拡張部の支圧効果が及ぶ範囲を有効高さとする鉛直円筒すべり面を各々の拡張部に対して想定し、各拡張部の鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の和と、杭先端地盤の極限抵抗力と、軸部の極限周面摩擦力との和から杭の自重を減算した値を極限鉛直支持力として演算し、演算した極限鉛直支持力の大きさに基づいて多段拡張杭を評価することを特徴とする。

【0018】上記の各発明において、砂質土地盤の場合には、鉛直円筒すべり面の面積と砂質土地盤における標準貫入試験によるN値に基いて等しいとする砂質土のせん断強度との積の和を、前記各拡張部の鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の和とし、粘性土地盤の場合には、鉛直円筒すべり面の面積と粘性土の非排水せん断強度との積の和を、前記各拡張部の鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の和とすることができる。

【0019】鉛直円筒すべり面の有効高さによって、このN値に基いて等しいとする砂質土のせん断強度、及び粘性土の非排水せん断強度は見掛け上変化するもので、この見掛けのせん断強度及び非排水せん断強度は、鉛直円筒すべり面の有効高さを変化させた実験を行って最適値を求めればよい。

【0020】例えば、鉛直円筒すべり面の有効高さを拡張部の直径の2倍としたときは、砂質土地盤の場合には、鉛直円筒すべり面の面積と砂質土地盤における標準貫入試験によるN値の1/2に等しいとする砂質土のせん断強度との積の和が、各拡張部の鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の和となる。

【0021】また、鉛直円筒すべり面の有効高さを拡張部の直径の2倍としたときの粘性土地盤の場合には、鉛直円筒すべり面の面積と、粘性土の非排水せん断強度と、非排水せん断強度に依存する低減係数との積の和が、各拡張部の鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の和となる。

【0022】また、鉛直円筒すべり面の有効高さを拡張部の直径の2倍としたときは、砂質土地盤における標準貫入試験によるN値の1/2に等しいとする砂質土のせん断強度、及び、粘性土の非排水せん断強度と前記非排水せん断強度に依存する低減係数との積の上限値は、 $30tf/m^2$ とするのが好ましい。

【0023】なお、上記の各場合における粘性土の非排水せん断強度としては、粘性土の一軸圧縮強度の1/2を使用することができる。

【0024】そして、本発明の多段拡張杭は、杭の長手方向の複数箇所に杭の軸部より径が大きい拡張部を形成した多段拡張杭であって、鉛直荷重作用時に、地盤内に拡張部径を直径とし、かつ拡張部の直径の2倍または2倍付近の値を有効高さとする鉛直円筒すべり面が各々の拡張部に対して想定できる位置に前記拡張部を形成したことを特徴とする。

【0025】本発明の多段拡張杭は、支持層内（地盤内）で杭の軸部を拡張し複数の拡張部を設けた杭形状であるため、鉛直荷重作用時に各々の拡張部に接する地盤に支圧効果が生じる。そして、拡張部外周端から鉛直下方に向かって発生する地盤内せん断すべり面（鉛直円筒すべり面）上でのせん断抵抗によって杭の周面摩擦力が規定される。したがって、従来の場所打ちコンクリート杭の周面摩擦力で問題となっていた杭と地盤との間に介在する泥膜の影響を受けることなく、杭に作用する鉛直荷重を確実に地盤に伝達することができる。また、粘性土地盤においては、削孔の影響による孔壁面の緩みや強度低下が少ない孔壁面より離れた位置におけるせん断すべり面上でのせん断抵抗を考慮することができる。このことを、本発明者は泥膜や削孔の影響が考慮できる実大規模の多段拡張杭の鉛直載荷試験及び引抜き試験によって確認し、この試験結果に基づく、通常の場合打ちコンクリート杭の周面摩擦力の推定式に比べ、大きな算定値を与える多段拡張杭の周面摩擦力の算定方法によって達成できることを見出した。

【0026】本発明は、鉛直荷重作用時に地盤内に拡張部径を直径とし、かつ拡張部の支圧効果が及ぶ範囲を有効高さとする鉛直円筒すべり面を各々の拡張部に対して想定し、各鉛直円筒すべり面上に発揮されるせん断抵抗力を杭の周面摩擦力として、各拡張部の鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の和と、杭先端地盤の極限抵抗力と、軸部の極限周面摩擦力との和から杭の自重を減算した値を極限鉛直支持力としたものである。

【0027】そして、本発明では、この極限鉛直支持力が目標値になるように多段拡張杭を製造したり、この極限鉛直支持力に基づいて多段拡張杭の鉛直支持性能を評価する。

【0028】本発明では杭の周面摩擦力は、実大規模の杭の鉛直載荷試験結果及び引抜き試験結果に基づき、その算定式を地盤調査から求まるN値（砂質土の場合）及び非排水せん断強度 $c_u$ 値（粘性土の場合）の関数として表現することができる。

【0029】すなわち、砂質土における拡張部の周面摩擦力については、拡張部径Dを直径とする鉛直円筒すべり面上に発揮される周面摩擦力が、 $\tau = N/2 [tf/m^2]$ で示される周面摩擦力度 $\tau$ を用いて算定でき、ま

た、粘性土における拡張部の周面摩擦力については、同じく拡張部径 $D$ を直径とする鉛直円筒すべり面上に発揮される周面摩擦力が、粘性土の非排水せん断強度 $c_u$ に依存した低減係数 $\beta_2$ （例えば、0.5～1.0）を考慮した $\tau (= \beta_2 \cdot c_u)$ を用いて、または、粘性土の一軸圧縮強度の1/2と低減係数との積を用いて算定できる。

【0030】鉛直円筒すべり面の高さ、すなわち拡張部有効高さ $H$ は、 $H = 2D$ （ $D$ は拡張部径である）、または $2D$ 付近の値であるのが好ましい。

【0031】したがって、この算定方法に基づく周面摩擦力の算定値は、従来の場所打ち杭の周面摩擦力の算定値と比較して、大きな周面摩擦力を与える結果となる。

【0032】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。図1に示すように、本実施の形態の多段拡張杭は、杭長 $L_p$ の杭の軸部10の先端部に拡張部12を形成して構成されている。軸部10の長手方向の複数箇所には、軸部10の径 $d$ より大きい径の拡張部14が拡張部12を基準として等間隔に形成されている。拡張部12は、先端が下方を向くように形成された円錐状部12A、径小部が上方の軸部10に連続した円錐台状部12B、及び円錐状部12Aと円錐台状部12Cとの間に介在された円柱状部12Cから構成されている。また、拡張部14も拡張部12と同様に、径小部が下方の軸部10に連続した円錐台状部14A、径小部が上方の軸部10に連続した円錐台状部14C、及び円錐状部14Aと円錐台状部14Cとの間に介在された円柱状部14Bから構成されている。

【0033】拡張部14の各々は、鉛直荷重作用時に、地盤内に拡張部14の径を直径とし、かつ拡張部の支圧効果が及ぶ範囲を有効高さとする鉛直円筒すべり面16を各々の拡張部14に対して想定したとき、想定された鉛直円筒すべり面の高さが、拡張部14の直径の2倍となる位置に拡張部が形成されている。すなわち、拡張部間隔が、拡張部14の直径の2倍となる。なお、拡張部を形成する位置は、拡張部14の直径の2倍付近の位置でもよい。

【0034】以下に、多段拡張杭の鉛直支持力の算定式、及び拡張部における周面摩擦力の算定方法を具体的に示す。

（1）極限鉛直支持力（ $R_u$ ）の算定

鉛直荷重作用時には、杭先端地盤に抵抗力、軸部に周面摩擦力、各拡張部に対応して想定された鉛直円筒すべり面の各々に周面摩擦力が生じ、これらの力と逆方向に杭の自重が作用するので、極限鉛直支持力（ $R_u$ ）は、下記（1）式で表される。

【0035】

$$R_u = R_p + Q_{f1} + Q_{f2} - W_p \quad \dots (1)$$

ただし、

$R_p$ ：杭先端地盤の極限抵抗力

$Q_{f1}$ ：軸部の極限周面摩擦力（従来の方法により算定することができる。）

$Q_{f2}$ ：拡張部に対応して想定された鉛直円筒すべり面の極限周面摩擦力

$W_p$ ：杭の自重

である。

（2）鉛直円筒すべり面の極限周面摩擦力 $Q_{f2}$ の算定  
拡張部に対応して想定された鉛直円筒すべり面の極限周面摩擦力 $Q_{f2}$ は、各鉛直円筒すべり面に生じる極限周面摩擦力の総和として下記の（2）式で表される

【0036】

【数1】

$$Q_{f2} = \sum_{i=1}^n \pi D_i \cdot H_i \cdot \tau_u \quad \dots (2)$$

【0037】ただし、

$D_i$ ： $i$ 番目の拡張部径[m]、 $i = 1, \dots, n$ （ $n$ ：拡張部数）

$H_i$ ： $i$ 番目の拡張部有効高さ[m]、

であり、有効高さは、上方に位置する拡張部の円柱状部の下端から下方に位置する拡張部の円柱状部の上端までの距離、すなわち拡張部間隔 $L_i$ で表され、本実施の形態では $H_i = L_i = 2D_i$ である。

【0038】また、 $\tau_u$ は、単位面積当りの極限周面摩擦力であり、各拡張部における単位面積当りの極限周面摩擦力 $\tau_u$ の値は、地盤の種類に応じて、下記i）、i）のいずれかによって表される。

【0039】

i）砂質土地盤における極限周面摩擦力度 $\tau_u$

$$\tau_u = N/2 \quad [tf/m^2]$$

ただし、 $N$ は、砂質土地盤における標準貫入試験による $N$ 値である。

【0040】

ii）粘性土地盤における極限周面摩擦力度 $\tau_u$

$$\tau_u = \beta_2 \cdot c_u \quad [tf/m^2]$$

ただし、 $\beta_2$ は、粘性土の非排水せん断強度 $c_u$ に依存する低減係数であり、 $0 < c_u \leq 10$  [tf/m<sup>2</sup>]のとき、 $\beta_2 = 1.0$ （低減なし）である。また、 $10$  [tf/m<sup>2</sup>]  $< c_u \leq 60$  [tf/m<sup>2</sup>]のとき、 $\beta_2 = -0.01c_u + 1.1$ である。

【0041】また、 $c_u$ は、粘性土の非排水せん断強度である。粘性土の非排水せん断強度は、粘性土の一軸圧縮強度 $q_u$ を用いて、 $c_u = q_u/2$ としてもよい。

【0042】なお、地盤の種類に拘わらず、極限周面摩擦力度 $\tau_u$ の上限値は、以下で説明するように $30$  [tf/m<sup>2</sup>]である。

【0043】次に、多段拡張杭の鉛直円筒すべり面の有効高さ $H_i$ を拡張部の直径の2倍または2倍付近の値にした理由を説明する。

【0044】多段拡張杭の鉛直支持力を与える算定式に

において、拡張部間隔 $L$ を拡張部径 $D$ の2倍とした根拠を示す。

【0045】ひとつめの実験結果は遠心場で行った模型杭の引抜き実験結果であり、拡張部間隔 $L$ をパラメータにして、拡張部の周面摩擦力を比較、検討したものである。実験に用いた杭は、直杭、拡張底杭、拡張頭底杭及び2段拡張杭である。図2(A)に、各杭における軸部径 $d$ 、拡張部径 $D$ 及び拡張部間隔 $L$ の解説図を示す。周面摩擦力度を検討する地盤内の仮定すべり面を図中に破線で示す。拡張頭底杭及び2段拡張杭の場合には、破線の長さが拡張部間隔に一致するが、拡張杭の場合には、上方に拡張部がないので砂天端に達する地盤内の仮定すべり面を考えて、その長さを拡張部間隔としている。なお、地盤内鉛直円筒すべり面上に発揮される周面摩擦力度 $\tau$ は下式により求めている。

【0046】

$$\tau = (P' - w - P_A) / (n \cdot L \cdot \pi \cdot D)$$

ただし、

$P'$  : 杭の引抜き荷重[kg]、

$w$  : 杭自重[kg]

$P_A$  : 軸部の負担軸力で、直杭歪み計付きモデルの軸力分布より推定[kg]

$n$  : 拡張部数、

$L$  : 拡張部間隔[cm]、

$D$  : 拡張部径[cm]

である。

【0047】図2(B)に拡張部の周面摩擦力度 $\tau$ と拡張部間隔 $L$ を拡張部径 $D$ で無次元化した $L/D$ との関係を示す。図中には、直杭、拡張底杭、拡張頭底杭及び2段拡張杭の試験結果が示されている。図2(B)より、試験結果にばらつきはあるものの、 $L/D=2.0$ あたりで周面摩擦力度のピークがあることが推定できる。すなわち、拡張部間隔 $L$ が $2D$ または $2D$ 付近の値の時に、地盤内すべり面上に発揮される周面摩擦力度が最大となり、多段拡張杭の設計において最も合理的な拡張部間隔が $2D$ であることを示唆している。

【0048】なお、拡張部の支圧効果による周面抵抗メカニズムは、外力の方向が押し込みと引抜きで異なっても、ほぼ同様なメカニズムと考えられるため、ここでは、引抜き試験結果に基づいて根拠を示した。

【0049】次に、 $\tau_u = N/2 [tf/m^2]$ 、 $\tau_u = \beta_2 \cdot c_u [tf/m^2]$ 、 $\tau_u$ の上限値を $30 [tf/m^2]$ とする理由について説明する。まず、図3及び図4に基づいて、地盤の強度定数(砂質土の場合は換算 $N$ 値、粘性土の場合は非排水せん断強度 $c_u$ または一軸圧縮強度 $q_u$ の $1/2$ )と周面摩擦力度を関連付ける。すなわち、地盤調査から地盤の強度定数が把握できると、これらの図を用いて周面摩擦力度を求め、杭全体の鉛直支持力が算定できる。

【0050】地盤の強度定数と周面摩擦力度を関連付け

る $\tau_u$ の設定曲線を、実大規模の鉛直載荷試験結果及び引抜き試験結果に基づき求めた。図3及び図4に示した点は、実大規模の多段拡張杭の鉛直載荷試験及び引抜き試験から求まる $\tau_u$ と $N$ 値(砂質土の場合)及び $\tau_u$ と $c_u$ または $q_u$ (粘性土の場合)の関係をプロットしたものである。記号の右肩の矢印は、周面摩擦力度がまだ極限に至っていないことを示す。各プロットにおける横軸の地盤の強度定数は各試験が実施された地盤における調査・試験等から求めている。また、縦軸に示された最大周面摩擦力度は、下記に示す方法で求めている。

【0051】鉛直載荷試験及び引抜き試験から求まる最大周面摩擦力度 $\tau_{max}$ は次式で得られる。

$$【0052】\tau_{max} = (P_{i+1} - P_i) / (\psi_p \cdot L_i)$$

ただし、 $P_{i+1}$ 、 $P_i$ は、軸方向に $2D_i$ の距離だけ離れた各断面における軸力[tf]、 $\psi_p$ は、ひずみ測定間の杭の周長[m]であり、ここでは、拡張部径 $D_i$ から周長を算定した。また、 $L_i$ は、ひずみ測定間の距離[m]であり、本実施の形態では、上記で説明したように $L_i = 2D_i$ である。

【0053】設定曲線がこれらのプロットを包絡しない、すなわち、地盤の強度定数に対して、鉛直載荷試験から推定される最大周面摩擦力度を上回らない(設計上、安全側である)ように、また、周面摩擦力度が極限に至っていない試験結果があることも考慮して、 $\tau_u$ の推定曲線を設定した。

【0054】ここで、 $\tau_u = N/2 [tf/m^2]$ 、 $\tau_u = \beta_2 \cdot c_u [tf/m^2]$ 、 $\tau_u$ の上限値 $30 [tf/m^2]$ 、及び低減係数 $\beta_2$ について説明する。拡張部の支圧効果が及ぶ範囲である拡張部有効高さ $H_1$ 、 $H_2$ が、拡張部径 $D_1$ 、 $D_2$ の2倍に相当するとして(記号等は、図1参照)、実大規模の鉛直載荷試験及び引抜き試験結果を整理した図が、図3及び図4である。図中の各点は、ひとつひとつの載荷試験結果に相当する。したがって、図中の各点を包絡しないように周面摩擦力度を与える曲線を設定すれば、周面摩擦力を算定する際に、安全側でしかも従来の算定値に比べ、大きな周面摩擦力が算定できることになる。 $\tau_u = N/2 [tf/m^2]$ 、 $\tau_u = \beta_2 \cdot c_u [tf/m^2]$ 、 $\tau_u$ の上限値 $30 [tf/m^2]$ は、上記のように試験結果に基づき、推定曲線を設定したものである。

【0055】また、粘性土の場合の低減係数 $\beta_2$ の場合分けは、Tomlinsonが示した低減係数の考え方(M. J. Tomlinson and R. Boorman; Foundation Design and Construction Sixth Edition, Longman Scientific & Technical, pp. 281, 1995)を参照したものである。ただし、Tomlinsonは粘性土の非排水せん断強度が約 $20 [tf/m^2]$ までのデータしか示していないのに対し、本発明においては、約 $120 [t$



f/m<sup>2</sup>]までの設定曲線を明示している。

【0056】なお、図1の形態では、杭中間部に2つの拡径部を設けた場合について示したが、本発明はこれに限定するものではなく、拡径部は任意の数設けることができる。

【0057】極限鉛直支持力が目標値になるように、拡径部の径の大きさ、個数、及び拡径部間隔等を定めることにより、目的とする多段拡径杭を設計することができ、この設計に基づいて多段拡径杭を製造することができる。また、製造された多段拡径杭に対して、上記の演

#### 1) 従来法 (学会式)

$$\begin{aligned} R_u &= \pi \times 2.8^2 / 4 \times 750 + \pi \times 2.0 \times 10.0 \times (1.0 + 30/3 + 15) - W_p \\ &= 4618.1 + 62.8 + 628.3 + 942.5 - 144.8 \\ &= 6106.9 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### 2) 従来法 (告示式)

$$\begin{aligned} R_u &= \pi \times 2.8^2 / 4 \times 900 + \pi \times 2.0 \times 10.0 \times (1.0 + 10.0 + 10.0) - W_p \\ &= 5541.8 + 62.8 + 628.3 + 628.3 - 144.8 \\ &= 6716.4 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### 3) 本実施の形態による方法

$$\begin{aligned} R_u &= \pi \times 2.8^2 / 4 \times 750 + \pi \times 2.0 \times 10.0 \times 1.0 + \pi \times 2.8 \times \\ &\quad (5.6 + 30/2 + 5.6 \times 2 \times 30) + \pi \times 2.8 \times 0.5 \times (30/3 \times 2 + 15.0) - W_p \\ &= 4618.1 + 62.8 + 738.9 + 2955.6 + 88.0 + 66.0 - 163.5 \\ &= 8365.9 \text{ ton} \end{aligned}$$

以上の結果から、本実施の形態に関連する算定方法による場所打ち杭は、従来の算定方法による場所打ち杭に比べ大きな鉛直支持力を有していることが確認でき、さらに、大きな鉛直支持力が確保できる多段拡径場所打ち杭の設計が可能となることが確認できた。

【0060】上記では、鉛直円筒すべり面の有効高さを拡径部の直径の2倍とした例について説明したが、鉛直円筒すべり面の有効高さは2倍付近の値等任意に定めることができる。

【0061】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の多段拡径杭の製造方法によれば、多段拡径杭の鉛直支持力の適切に算定することにより、従来の場所打ちコンクリート杭に比べ大きな鉛直支持力が確保できる杭の製造が可能となる、という効果が得られる。

【0062】また、多段拡径杭の評価方法によれば、多段拡径杭の鉛直支持力の適切に算定することにより、多段拡径杭の鉛直支持性能を適切に評価することが可能となる、という効果が得られる。

【0063】そして、本発明の多段拡径杭によれば、信頼性の高い鉛直支持杭の具現化が図れ、従来、鉛直荷重

算式によって極限鉛直支持力を演算すれば、演算された極限鉛直支持力の大きさから多段拡径杭の鉛直支持特性を評価することができる。

【0058】図5に、本実施の形態に関する多段拡径杭と従来の算定方法による場所打ち杭の極限鉛直支持力の比較を示す。以下では、図5中に示すような地盤に構築された多段拡径杭の極限鉛直支持力を各算定方法に従って求めている。

【0059】

が大きな建物基礎に採用していた連続地下壁に替わる合理的な建物基礎の計画が可能となる、という効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の多段拡径杭を示す側面図である。

【図2】(A)は各杭形状における軸部径、拡径部径D、拡径部間隔Lを説明する解説図、(B)は地盤内鉛直円筒すべり面の周面摩擦力度とL/Dとの関係を示すグラフである。

【図3】砂質土における拡径部の最大周面摩擦力度と換算N値との関係を示す線図である。

【図4】粘性土における拡径部の最大周面摩擦力度と換算N値との関係を示す線図である。

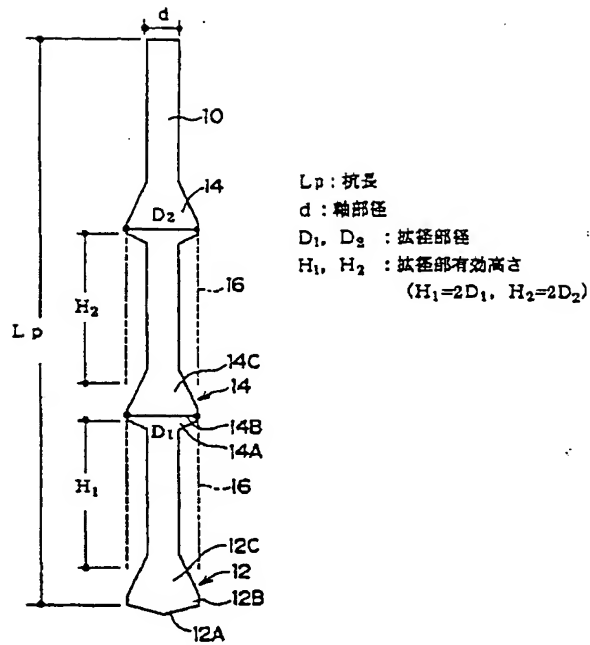
【図5】従来の算定方法と本実施の形態の算定方法とを比較して示す線図である。

【符号の説明】

- 10 軸部
- 12 拡底部
- 14 拡径部



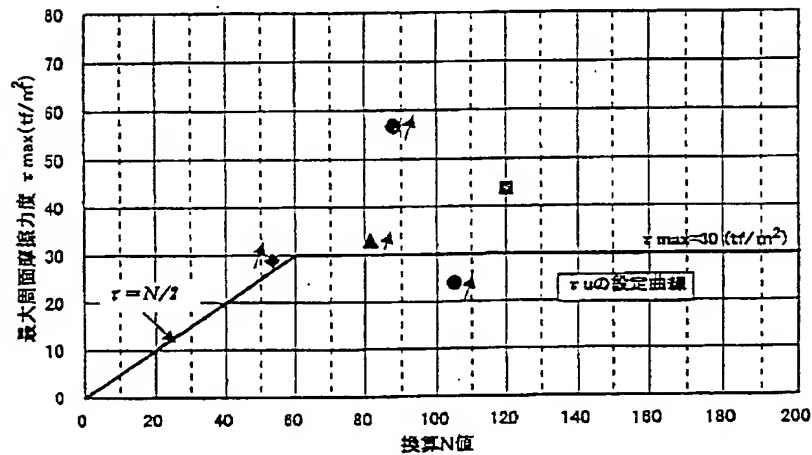
【図1】



拡張部の周面摩阻力が考慮できる範囲 (3 段拡張杭の例)

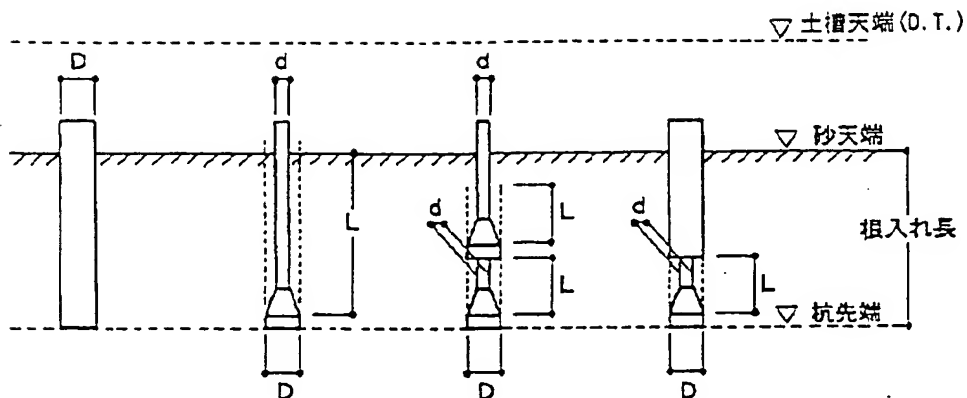
【図3】

拡張部の最大周面摩阻力  $\tau_{max}$  と換算N値の関係 (砂質土)



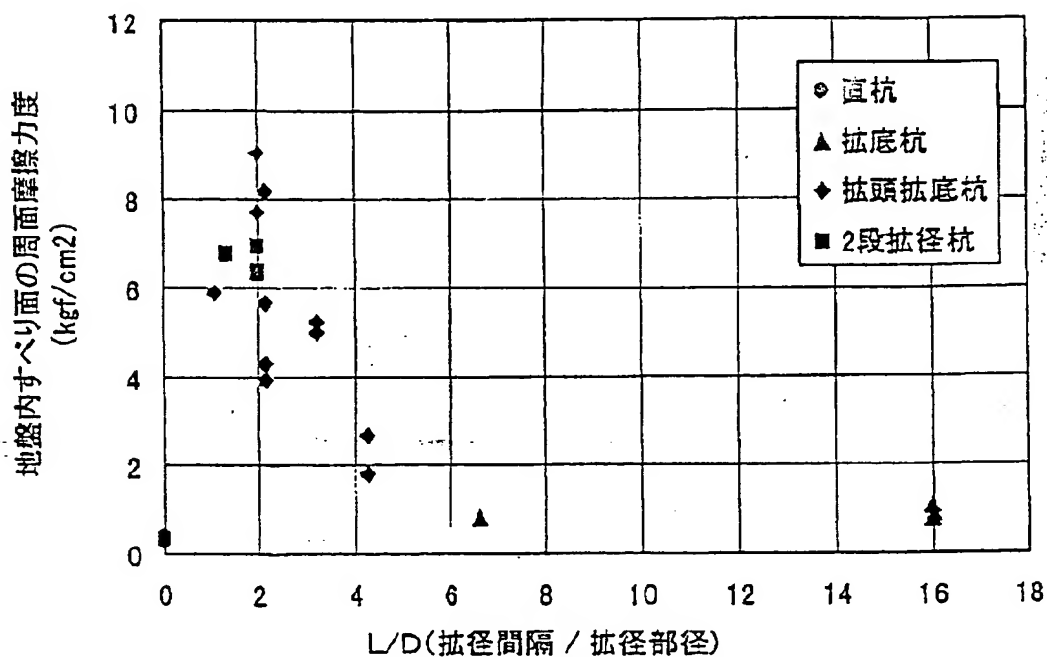
拡張部の最大周面摩阻力と換算N値の関係 (砂質土)

【図2】



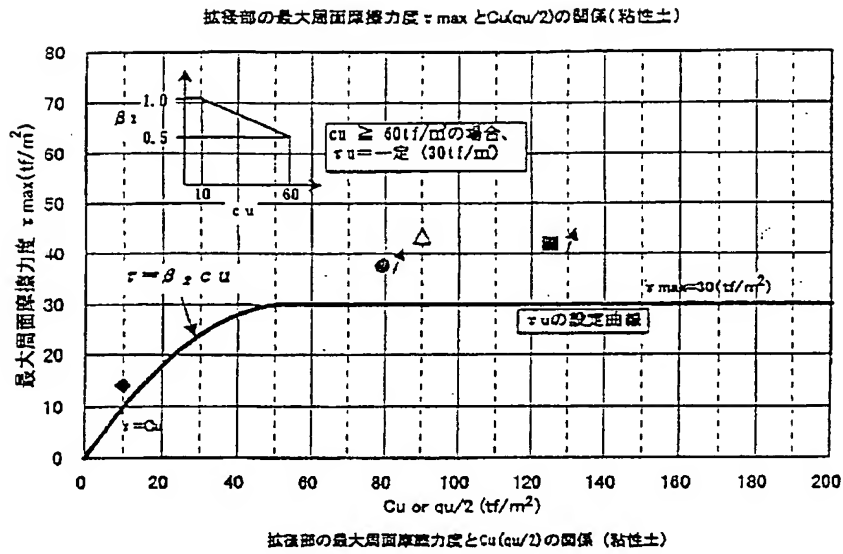
(A) 各杭形状における軸部径 $d$ 、拡径部径 $D$ 、拡径部間隔 $L$ の解説図

$L/D$ と地盤内すべり面の周面摩擦力度の関係(12.5/17.5 series)



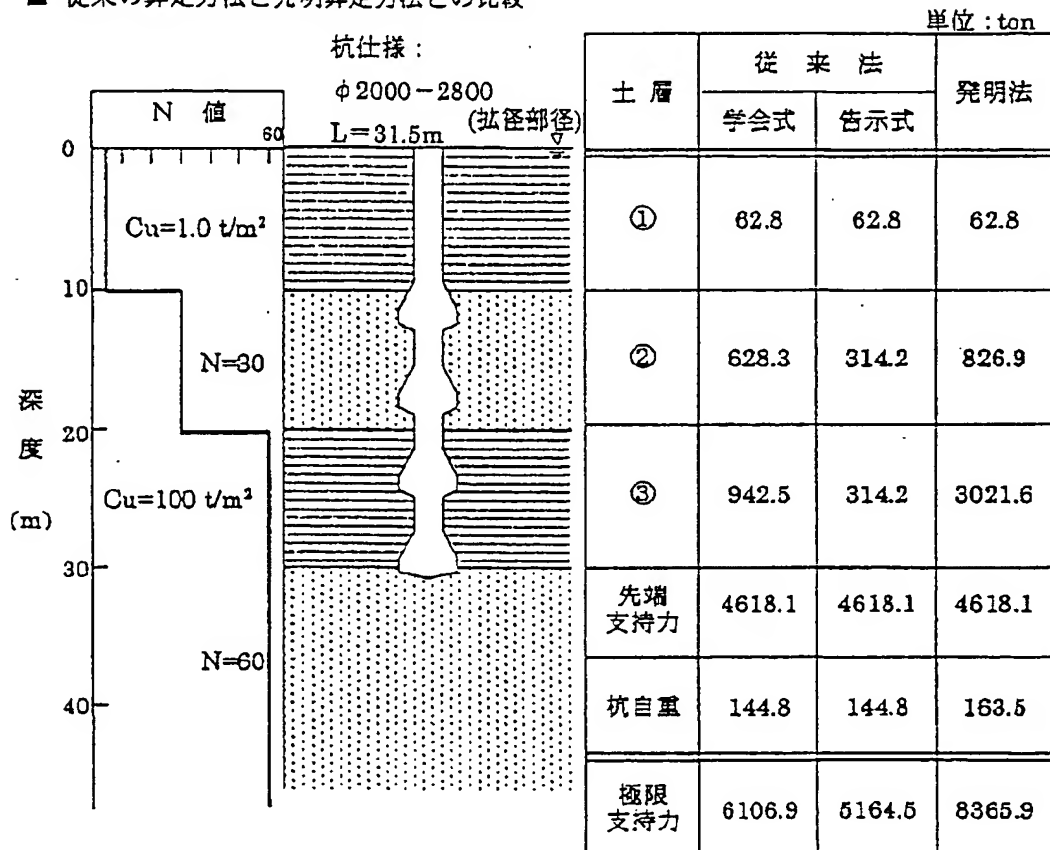
(B) 地盤内すべり面の周面摩擦力度と $L/D$  (拡径部間隔 / 拡径部径) の関係

【図4】



【図5】

## ■ 従来の算定方法と発明算定方法との比較



フロントページの続き

(72)発明者 丸岡 正夫

千葉県印西市大塚1丁目5番地1 株式会  
社竹中工務店技術研究所内

Fターム(参考) 2D041 AA01 BA22 CA03 CB05 DA01